

Martin Riopel

Université du Québec à Montréal
Dernière mise à jour le 4 décembre 2006
www.er.uqam.ca/nobel/r20507/epistemologie/

Épistémologie et Enseignement des Sciences

Pour présenter les courants épistémologiques, nous allons commencer par donner un sens précis au mot *science* et à l'expression *activité scientifique*. Nous allons ensuite présenter, un à un, les différents courants ou écoles de pensée concernant l'activité scientifique en tentant de mettre en évidence les liens possibles entre l'appartenance d'un professeur à un courant donné et sa façon d'enseigner. Nous allons finalement conclure en soulignant les limites de l'application de cette classification à l'enseignement des sciences.

1. Définition de la science

Dans le langage courant, le mot *science* peut avoir plusieurs sens et il convient, avant de se lancer dans un exposé sur l'épistémologie (du grec *epistêmê* « science » et *logos* « étude »), de bien les différencier. Selon Robert (1995, p. 2051), dans son application la plus large, le mot *science* se confond souvent avec le mot *savoir* ou même simplement *connaissance*. Cette définition, trop large, n'est certes pas celle que nous voulons retenir dans le cadre de cet exposé. Toujours selon le même auteur, le mot *science* peut aussi être associé au *savoir-faire que donnent les connaissances* et, bien que ce sens soit déjà plus restrictif, il ne nous convient toujours pas. Nous retiendrons plutôt la définition suivante que propose Robert, en précisant qu'il s'agit du sens moderne et courant :
« *Ensemble de connaissances, d'études d'une valeur universelle, caractérisées par un objet (domaine) et une méthode déterminés, et fondées sur des relations objectives vérifiables.* » *(p. 2051)*
Cette définition nous convient parce qu'elle ne fait pas référence à une, mais bien à un ensemble de connaissances qui ont, par ailleurs, une valeur universelle (qui s'appliquent à l'ensemble de tout ce qui existe) plutôt que conventionnelle ou simplement arbitraire. Cette définition moderne associe également au mot *science* une certaine forme de rigueur et d'objectivité qui nous apparaît essentielle (dans la mesure où la rigueur et l'objectivité sont possibles, ce qui, nous le verrons plus loin, ne fait pas l'unanimité). Finalement, et nous nous attarderons plus particulièrement sur ce détail, la définition citée mentionne que les sciences sont fondées sur des relations vérifiables. L'adjectif *vérifiable*, toujours selon Robert (1995, p. 2373), fait référence à une confrontation avec les faits ou à un contrôle de la cohérence interne des connaissances. Il nous apparaît

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

évident que, dans le contexte de la définition d'une science, la seule cohérence interne d'un ensemble de connaissances ne saurait leur donner une valeur universelle et que seule une confrontation avec les faits garantit que ces connaissances sont applicables à l'univers et, de ce fait, ont possiblement une valeur universelle. Nous ne pouvons donc retenir l'énoncé qu'un ensemble de connaissances cohérentes, par leur existence même, font partie de l'univers et par conséquent s'appliquent à lui puisque cet argument nous contraindrait à accepter aussi comme scientifique tout énoncé existant (considéré comme un ensemble complet), dans la mesure où cet énoncé ne se contredit pas lui-même.
Granger (1995, p. 45-48) reprend l'essentiel de la définition précédente en la séparant en trois traits principaux caractérisant la science et que nous résumons ainsi :

1. *la science vise une réalité par une recherche constante, laborieuse et cependant créative de concepts orientés vers la description ou l'organisation de données résistant à nos fantaisies ;*
2. *la science a pour objectif ultime de décrire, d'expliquer, de comprendre et non directement d'agir ;*
3. *la science a le souci constant de produire des critères de validation publiques, c'est-à-dire exposés au contrôle instruit de quiconque.*

Avec son critère de *réfutabilité*, Popper (1985, p.230) va encore plus loin et propose qu'un ensemble de connaissances, pour être qualifié de science, doit non seulement être vérifié ou vérifiable, mais doit de plus s'exposer d'avance à être réfuté par l'expérience (par expérience, nous entendons le résultat d'une interaction avec la réalité). Ce critère de Popper, particulièrement contraignant, fait intervenir deux idées principales soit, premièrement, la nécessité pour une théorie scientifique de faire au moins une prédiction et, deuxièmement, la nécessité que cette prédiction concerne une expérience nouvelle (dont on ne connaît pas encore le résultat avec une précision suffisante) susceptible de réfuter la théorie. En ajoutant une dimension temporelle à la définition d'une science, Popper exclut du domaine scientifique, entre autres, toutes les théories qui ne font que s'ajuster *a posteriori* aux expériences en ne prédisant rien de nouveau. À notre avis, tout contraignante qu'elle soit, c'est cette obligation de nouveauté qui donne tout son sens au critère de Popper et, dans le même élan, projette les sciences modernes vers l'avant. C'est une vision opérationnelle de la science, c'est-à-dire qu'elle implique sa propre vérification sous forme de postulats opérationnels, et c'est pourquoi nous utiliserons cette définition possible des sciences comme point d'ancrage de la discussion qui suit.
Évidemment, cette définition de la science ne fait pas l'unanimité. Jarroson (1992, p. 167-168) présente trois limites quant à l'utilisation du critère de Popper que nous résumons ainsi :

1. *Il existe des propositions qui ont un sens, mais qui ne sont pas réfutables. Par exemple, « il existe des hommes immortels » ; il faudrait tuer tous les hommes pour démontrer que cette proposition est fausse.*
2. *Il est rare qu'une expérience permette de ne réfuter qu'une seule théorie à la fois. Par exemple, quand on observe une bille qui tombe pour étudier la mécanique, on admet aussi la théorie de la lumière qui permet de voir la bille.*
3. *On ne peut jamais être certain de la validité d'une expérience ou d'un ensemble d'expériences. Il faut toujours faire la conjecture fondamentale de se fier à l'expérience.*

La première limite ne pose pas de problème majeur, puisqu'on peut toujours se restreindre à ne considérer que les théories qui sont effectivement réfutables. La seconde limite nous contraint à considérer la science comme un ensemble, ce qui n'est pas un problème insurmontable. Cependant, la troisième limite, plus profonde, mérite qu'on s'y attarde. Le courant épistémologique constructiviste, qui sera présenté un peu plus loin, reprend cet argument pour remettre en question la possibilité d'établir des relations *objectives* en proposant que le sujet connaissant est indissociable de la connaissance produite. L'impossibilité d'établir des relations objectives invalide évidemment le processus objectif de vérification et rend impossible l'application stricte du critère de Popper. La définition des sciences doit alors être révisée. Dans cet esprit, Robert (1995) rapporte que, dans le domaine de la didactique et des sciences humaines, on utilise habituellement la définition suivante du mot *science* qui ne retient que les deux premiers éléments de la définition courante :

« *Corps de connaissances ayant un objet déterminé et reconnu, et une méthode propre; domaine organisé du savoir.* » (p. 2051)

On pourrait citer à titre d'exemple Gingras (1995) :

« ce qu'on appelle la science est un savoir qui repose sur des conventions » (p. 27)

Puisque notre travail s'inscrit dans le cadre de la didactique, il nous apparaît prudent de prévenir le lecteur que l'usage, en didactique, ne sera pas respecté. Pour éviter toute ambiguïté, le mot *science* sera utilisé dans son sens courant. Lorsque nous ferons référence à la définition didactique ou constructiviste d'une science, nous le mentionnerons explicitement.

2. Principaux courants épistémologiques

Dans les sections qui suivent, nous présenterons les principaux courants épistémologiques concernant l'activité scientifique tels qu'énumérés dans Bégin (1997, p. 13) ou Alters (1997, p. 50-53) soit le rationalisme, l'empirisme, le positivisme, le constructivisme et le réalisme. Pour chacun des courants, nous tenterons de donner une définition suffisamment précise et un aperçu des implications de cette définition sur la recherche de nouvelles connaissances, le nom de quelques scientifiques ayant défendu des positions cohérentes avec la définition retenue, ainsi que les préférences pédagogiques et la conception du cours de sciences que pourrait adopter un professeur qui choisit d'appartenir à ce courant.

2.1. Rationalisme (17e siècle)

Selon Le dictionnaire actuel de l'éducation (1994, p. 1003) le rationalisme est un courant épistémologique qui considère que « toute connaissance valide provient soit exclusivement, soit essentiellement de l'usage de la raison ». Selon Bégin (1997, p. 12), Alters (1997, p. 51) et Blanshard (2001), on reconnaît généralement que des philosophes grecs comme Euclide (~300 av J.-C.), Pythagore (569-475 av. J.-C.) et Platon (428-347 av. J.-C.) défendaient des positions rationalistes en accordant la primauté aux idées. Cette association se fait évidemment a posteriori puisque le courant épistémologique rationaliste n'était pas encore défini à l'époque. Plus récemment, on associe les mathématiciens Descartes (1596-1650) et Leibniz (1646-1716) ainsi que le philosophe Kant (1724-1804) à ce courant qui privilégie le raisonnement en général et plus particulièrement le raisonnement déductif (ou analytique) qui va de l'abstrait vers le concret comme mécanisme de production de connaissances.

Il est important de comprendre ici que, pour les rationalistes, l'expérimentation est exclue du mécanisme de production de nouvelles connaissances.
L'expérimentation (ou l'interaction avec la réalité) sert tout au plus à vérifier ce qui a été déduit et, dans la mesure où ce qui a été déduit relève de l'évidence, l'expérimentation devient inutile et superflue. Pour les rationalistes, l'ensemble de tous les raisonnements possibles englobe nécessairement l'ensemble de toutes les expériences possibles et la raison seule suffit pour séparer les expériences possibles dans la réalité de celles qui ne sont possibles que dans l'imagination.
Historiquement, les connaissances associées au domaine de la géométrie ont joué un rôle important dans l'élaboration et la justification de la position épistémologique rationaliste. Par exemple, Britannica (2001) rapporte que Platon, dans son dialogue intitulé *Ménon*, met en évidence le caractère certain, universel et inné de la connaissance en racontant comment Socrate réussit à faire démontrer à un jeune esclave illettré, étape par étape et sans le lui enseigner, le théorème de Pythagore appliqué à la diagonale d'un carré. Plus tard, au début du 17e siècle, l'inventeur de la géométrie analytique, le mathématicien français René Descartes, reprendra la position rationaliste en tentant d'appliquer la rigueur et la clarté des mathématiques au domaine de la philosophie. Dans le même esprit, le physicien et astronome italien Galilée (1564-1642), bien que reconnaissant l'importance de l'expérimentation et l'observation dans la recherche de connaissances nouvelles (ayant lui-même effectué des observations astronomiques des lunes de Jupiter et des phases de Vénus qui ont été déterminantes) proposait dans *L'essayeur* en 1623 que :

> « Le grand livre de l'Univers est écrit dans le langage des mathématiques. On ne peut comprendre ce livre que si on en apprend tout d'abord le langage, et l'alphabet dans lequel il est rédigé. Les caractères en sont les triangles et les cercles, ainsi que les autres figures géométriques sans lesquelles il est humainement impossible d'en déchiffrer le moindre mot »

Le courant rationaliste, que l'on associe souvent à l'Europe continentale, a dominé le 17e siècle et, bien qu'il ne soit pas très répandu parmi les scientifiques modernes, on le retrouve encore chez certains théoriciens qui croient que tout l'édifice des sciences pourra un jour être déduit d'une géométrie de l'espace reposant sur quelques évidences pures. À l'intérieur du courant rationaliste, on distingue, entre autres, le *platonisme* qui croit, selon Barreau (1995, p. 50), « *à une harmonie inhérente à la nature qui se réfléchit elle-même dans nos esprits* », du *criticisme* de Kant (1724-1804) qui considère que la connaissance dépend de structures inscrites *a priori* dans l'esprit humain qui rendent possible la perception de la réalité.
Un professeur de science d'allégeance rationaliste aura évidemment tendance à insister sur l'importance du raisonnement (au détriment de l'expérience) en allant peut-être, dans les cas extrêmes, jusqu'à éliminer complètement l'expérimentation du processus d'apprentissage de l'élève. Un cours de science correspond, pour ce professeur, à une suite de raisonnements analytiques que l'élève doit réussir à comprendre, à reproduire et à maîtriser.

2.2. Empirisme (18e siècle)

L'empirisme s'oppose radicalement au rationalisme en proposant que *toute connaissance provient essentiellement de l'expérience*. Popper (1985, p. 217) reconnaît *a posteriori* dans les propositions généralisantes du philosophe grec Anaximène (610-545 av. J.-C.) un mode de pensée empiriste. Plus récemment, selon Quinton (2001) on associe les philosophes anglais Bacon (1561-1626), Locke (1632-1704) et

Berkeley (1685-1753) à ce courant qui propose que les sciences progressent en accumulant des observations dont on peut extraire des lois par un raisonnement inductif (ou synthétique) qui va du concret vers l'abstrait. Pour les empiristes, les observations permettent de rendre compte de la réalité.

Il est important de comprendre ici que, pour les empiristes, la déduction est exclue du mécanisme de production de nouvelles connaissances. La déduction ne serait qu'une étape temporaire permettant de faire une hypothèse ou servant à simplifier la description de l'ensemble des observations réalisées par les scientifiques à une époque donnée. Les empiristes accordent d'ailleurs une plus grande flexibilité à la définition du mot *raisonnement*, plus particulièrement lorsqu'il s'agit du raisonnement inductif. En effet, puisque seules les expériences comptent vraiment, le raisonnement a pour unique but de produire des idées qui permettront de faire de nouvelles expériences. On privilégie donc un raisonnement créatif plutôt que rigoureux et l'on devrait peut-être (selon Barreau, 1995, p. 59) appeler *abduction* ou *conjecture* l'induction scientifique qui, à partir d'un ensemble d'expériences connues, permet d'en imaginer de nouvelles. Pour les empiristes, le manque de rigueur d'un raisonnement ne l'empêche pas nécessairement de contribuer à la progression des connaissances puisque la seule véritable rigueur provient de l'expérience et que la nature n'a pas forcément de compte à rendre à la raison.

Historiquement, les travaux de Newton (1642-1726), en accordant une grande importance aux expériences, ont contribué significativement au rayonnement de la position empiriste. Dans la préface des *Principia* en 1686, Newton propose d'ailleurs que l'observation des phénomènes précède habituellement la démonstration :

« *the whole burden of philosophy seems to consist in this - from the phenomena of motions to investigate the forces of nature, and then from these forces to demonstrate the other phenomena* ».

L'application de cette méthode a permis à Newton et à ses contemporains de décrire les forces en mécanique (en particulier celle de la gravité) et de construire un modèle corpusculaire de la lumière. Un peu plus tard, Coulomb (1736-1806) utilisera la même méthode pour mettre en évidence la force électrique. En chimie, Lavoisier (1743-1794) s'inspirera des travaux de Newton sur la lumière pour jeter les bases de la chimie moderne en proposant une méthode expérimentale permettant d'identifier les éléments fondamentaux.

Le courant empiriste, que l'on associe souvent aux Britanniques, a dominé le 18^e^ siècle pour céder progressivement la place au positivisme durant le 19^e^ siècle. Ce courant épistémologique, sous une forme nuancée, est encore présent parmi les scientifiques modernes. À l'intérieur du courant empirique, on distingue le *matérialisme* qui propose que tout ce qui n'est pas une expérience matérielle directe n'existe pas, le *sensualisme* qui propose que toutes les connaissances proviennent des sensations et l'*instrumentalisme*, qui propose que toute théorie est un outil, un instrument pour l'action et qu'elle ne nous apprend rien sur la nature de la réalité.

Un professeur de science d'allégeance empiriste aura tendance à insister sur l'importance de l'expérimentation par les élèves dans le but de mettre en évidence des lois approximatives ou de vérifier des hypothèses. Les raisonnements qui permettent de déduire rigoureusement ces lois seront considérés non-essentiels et, dans les cas extrêmes, pourront être éliminés du processus d'apprentissage de l'élève. Un cours de science, pour ce professeur, correspond à une suite d'expériences cruciales que l'élève doit réussir à comprendre, à reproduire et à maîtriser.

2.3. Positivisme (19e siècle)

Bien que Feigl (2001) mentionne que le philosophe grec Sextus Empiricus (160-210), qui vécut au tournant du 3e siècle, adoptait une position positiviste en insistant sur la suspension de tout jugement, on attribue généralement le courant positiviste au philosophe Auguste Comte (1798-1857) ainsi qu'aux physiciens Mach (1838-1916), Bridgman (1882-1961) et Bohr (1885-1962). Le courant positiviste s'inspire de l'empirisme en ce sens qu'il s'en tient aux seuls faits d'observation, mais reconnaît l'importance du raisonnement en ajoutant que les sciences s'efforcent, en utilisant la mathématisation, de relier entre elles de façon aussi simple que possible les données expérimentales (Bégin, 1997, p. 12). Ce mariage entre le raisonnement et l'expérience apparaît déjà très clairement en 1820 dans la définition que donne Auguste Comte et qui est citée par Kremer-Marietti (1993, p. 6) :

> « S'il est vrai qu'une science ne devient positive qu'en se fondant exclusivement sur des faits observés et dont l'exactitude est généralement reconnue, il est également incontestable […] qu'une branche quelconque de nos connaissances ne devient une science qu'à l'époque où, au moyen d'une hypothèse, on a lié tous les faits qui lui servent de base. »

Il est à noter que les positivistes insistent sur la rigueur du raisonnement inductif qui permet de passer des faits aux hypothèses. Ainsi, des positivistes comme le philosophe et économiste Stuart Mill (1806-1873) et le généticien Fisher (1890-1962) ont élaboré des méthodes inductives, basées sur les probabilités et les statistiques, pour obtenir des lois probables à partir d'un ensemble de mesures. Cependant, force est de constater, selon Barreau (1995, p. 56), qu'il n'existe pas à ce jour de stricte logique inductive qui ne contienne pas une partie purement conventionnelle. Or, le raisonnement inductif étant indispensable (pour les positivistes) à l'évolution des sciences (selon la célèbre formule « *voir pour prévoir* » d'Auguste Comte), les théories produites n'ont en soi aucune valeur autre que celle d'être liées aux faits. Elles ne nous apprennent rien de la réalité qui ne soit déjà contenu dans les faits eux-mêmes. Par conséquent, pour les positivistes, « *la science décrit le comment des choses sans rien pouvoir dire de leur pourquoi* » (*Le dictionnaire actuel de l'éducation*, 1994, p. 1003).
Historiquement, cette distinction très nette entre les observations (*le comment*) et les modèles mathématiques (*le pourquoi*) est particulièrement importante pour comprendre ce qui a amené les positivistes à se distinguer des empiristes. Par exemple, les travaux expérimentaux de Dalton (1766-1844) qui fondèrent l'atomisme chimique soulevèrent la question fondamentale de l'existence réelle des atomes. Les empiristes de l'époque croyaient en général que les atomes, puisqu'ils étaient nécessaires pour expliquer les résultats expérimentaux, existaient vraiment. Les positivistes s'opposaient farouchement à l'existence des atomes parce que ceux-ci n'étaient pas directement observables : les atomes étaient des modèles (*le pourquoi*) permettant d'expliquer les expériences (*le comment*). Pour les positivistes, les modèles sont des créations humaines qui n'ont strictement aucune valeur autre que d'être utiles. Les positivistes se sont ainsi opposés catégoriquement à tout ce qui, dans les modèles scientifiques, n'était pas directement observable. Par exemple, selon Feigl (2001), pour les positivistes

> ***les infinitésimaux*** *utilisés par Newton dans les calculs du mouvement des corps subissant des forces n'étaient que des artifices mathématiques;*
> ***le vide entre les atomes*** *ne pouvait pas exister, on lui préférait un véritable milieu : l'éther ;*

la notion d'espace et de temps absolus *utilisée par Newton ne pouvait pas être réelle, il fallait toujours que l'espace et le temps soit mesurés par rapport à quelque chose de matériel.*

Pour les positivistes, le fait que les modèles n'aient aucune valeur en eux-mêmes ouvre la porte à la possibilité que plusieurs modèles différents (et même contradictoires) rendent compte, avec une égale efficacité, des mêmes observations. Ainsi, l'apparition du courant positiviste a favorisé, d'une certaine façon, la multiplication des modèles. Le débat entre le modèle corpusculaire de la lumière proposé par Newton et le modèle ondulatoire proposé par Fresnel (1788-1827) en est un exemple.

On associe souvent au positivisme une tendance excessive à la classification et à l'organisation. Les positivistes ont tendance à croire, par exemple, qu'il existe une méthode expérimentale universelle qui comporte des étapes précises et qui garantit la progression des sciences. On associe également au courant positiviste la subordination des sciences les unes aux autres selon une classification stricte de même qu'un ordre universel des connaissances et de la société humaine. Dans les cas extrêmes, les thèses déformées du positivisme ont engendré l'idéologie scientiste.

Le courant positiviste a dominé le 19^{e} siècle et est encore présent aujourd'hui dans les milieux scientifiques, en particulier parmi les tenant de la physique quantique qui utilisent abondamment les probabilités et les statistiques pour faire le lien entre leurs observations et leurs prédictions. À l'intérieur du courant positiviste, on distingue, selon Kremer-Marietti (1993, p. 10-11), le *conventionnalisme* de Poincarré (1854-1912) qui propose que *les hypothèses n'ont pas de valeur cognitive en elles-mêmes,* le *pragmatisme* de James (1842-1910) qui propose, selon Le Moigne (1995, p. 55), que « *le vrai consiste simplement en ce qui est avantageux pour la pensée* », et le *positivisme logique* de Carnap (1891-1970) qui propose que *les processus cognitifs d'élaboration des représentations doivent pouvoir être construits ou reconstruits*. Le positivisme logique est parfois présenté comme un des précurseurs du constructivisme.

Un professeur de science d'allégeance positiviste aura tendance à reconnaître l'importance complémentaire de l'expérimentation et du raisonnement dans l'apprentissage de l'élève, en insistant sur la démarche qui permet d'analyser statistiquement un ensemble de mesures afin d'obtenir un modèle aussi simple que possible. Un cours de science correspond, pour ce professeur, à une suite d'expériences que l'élève doit réussir à comprendre, à reproduire, à maîtriser et à relier logiquement entre elles par un raisonnement inductif rigoureux.

2.4. Constructivisme (20^{e} siècle)

Selon Le Moigne (1995, p. 43), on peut trouver chez les sophistes grecs certaines idées qui peuvent être associées *a posteriori* au patrimoine de la position constructiviste. Il cite par exemple la conception de l'ambiguïté du réel d'Héraclite (550-480 av. J.-C.) et la formule de Protagoras (485-410 av. J.-C.) : « *l'homme est la mesure de toute chose* » (p. 43). C'est cependant au 20e siècle que le courant constructiviste est apparu et on reconnaît habituellement la paternité de ce courant au mathématicien hollandais Brouwer (1881-1966) qui avait utilisé le terme *constructiviste* pour caractériser sa position sur la question des fondements en mathématiques qui s'opposait à la position *formaliste* d'Hilbert (Largeault, 1992, p. 27). Il convient ici, pour approfondir notre réflexion sur les sciences, et plus particulièrement sur la notion d'objectivité, de présenter sommairement cette question des fondements en mathématiques.

Peut-on fonder l'ensemble des mathématiques sur un seul système cohérent et complet ?

Les mathématiciens qui ont tenté de répondre à cette question sont habituellement regroupés en trois écoles, soit l'école *logistique*, qui tente de fonder l'ensemble des mathématiques sur la logique des propositions, l'école *formaliste*, qui tente de démontrer la consistance de tous les axiomes fondamentaux des mathématiques et l'école *constructiviste*, qui n'accepte comme vrai que ce que l'on peut construire (en un nombre fini d'étapes) à partir d'idées que l'intuition accepte comme vraies.

Comme le mentionne Barreau (1995, p. 44-45), les deux premières écoles ont rencontré des obstacles insurmontables. En effet, les membres de l'école logistique ont constaté l'impossibilité de définir complètement la logique de construction des mathématiques sans utiliser de résultat provenant des mathématiques. Pour les formalistes, Gödel a démontré, en 1931, que toute théorie assez puissante pour pouvoir englober la théorie des nombres entiers ne peut être démontrée consistante. Finalement, même l'école constructiviste a dû se résoudre à ne pas recouvrir, avec un seul ensemble, tout le champ des mathématiques classiques. Il apparaît donc impossible de réunir les mathématiques en un système cohérent et complet qui ne contiennent pas une composante subjective que les constructivistes appellent *intuition*. Comme le conclut Barreau (1995, p. 47), « *Les mathématiques marchent sur deux pieds, l'intuition et la logique, […] le premier pas relève de l'intuition ; la logique vient ensuite…* ».

La position constructiviste sera reprise par le psychologue suisse Piaget (1896-1980), dans les années soixante, pour expliquer le fondement des connaissances. En effet, Piaget et Garcia (1983, p. 30) proposent que « *un fait est […] toujours le produit de la composition, entre une part fournie par les objets, et une autre construite par le sujet* ». En insistant sur le caractère hautement construit des connaissances en général et des connaissances scientifiques en particulier, le courant constructiviste remet en question la possibilité de toujours obtenir des relations objectives sur lesquelles baser les sciences. L'absence de relation objective invalide évidemment tout processus formel de vérification et rend impossible l'application stricte du critère de Popper (tel que présenté précédemment). En renonçant à l'objectivité, le courant constructiviste considère la connaissance scientifique au même titre que n'importe quelle autre connaissance et propose que les sciences *contruisent* (plutôt que révèlent) une réalité possible à partir d'expériences cognitives successives.

Selon Larochelle et Désautels (1992, p. 27), les constructivistes ne rejettent pas l'existence d'une réalité ultime, mais ils affirment qu'on ne peut pas la connaître. Pour illustrer ce propos, les auteurs utilisent l'analogie de la clé :

> « Le savoir convient à la réalité comme une clé convient à une serrure. La convenance s'applique à la clé, non à la serrure. Autrement dit, je peux décrire la clé sans être en mesure de décrire la serrure. […] Comme la clé ne reproduit pas la serrure, le savoir ne reproduit pas non plus la réalité. » (p. 27-28)

Le courant constructiviste, encore peu présent dans les milieux scientifiques traditionnels, occupe une place importante en psychologie et en didactique où le terme *constructivisme* est utilisé à plusieurs niveaux différents, avec des sens apparentés (Astolfi *et al.*, 1997, p. 49-50). On utilisera, par exemple, le terme *constructivisme* en psychologie pour décrire le modèle adopté pour appréhender l'activité cognitive d'un sujet, alors qu'en didactique on utilisera ce terme pour décrire certaines procédures d'enseignement où l'élève est au cœur des apprentissages. Cette utilisation du terme côtoiera l'utilisation épistémologique qui décrit la conception que certains didacticiens, psychologues et professeurs ont des sciences en général. À l'intérieur du courant constructiviste, on distingue, selon Larochelle et Désautels (1992,

p. 27), le constructivisme *trivial* qui propose que « *le savoir ne peut pas être transmis passivement, mais qu'il doit être construit activement par le sujet* » et le constructivisme *radical* qui reprend la proposition précédente en ajoutant que « *la cognition doit être vue comme une fonction adaptative qui sert à l'organisation du monde de l'expérience plutôt qu'à la découverte d'une réalité ontologique* ».

Un professeur de science d'allégeance constructiviste aura tendance à insister sur le caractère arbitraire ou subjectif des modèles scientifiques, en encourageant l'élève à construire ses propres connaissances. Pour ce professeur, l'expérimentation ne sert qu'à vérifier la cohérence interne de la construction. Un cours de science correspond, pour ce professeur, à une suite de modèles reconnus actuellement par le milieu scientifique que l'élève doit réussir à comprendre, à construire et à maîtriser. Un professeur qui adopte la conception constructiviste de la science aura évidemment aussi tendance à adopter les procédures d'enseignement constructivistes où l'élève est au cœur des apprentissages.

2.5. Réalisme (20e siècle)

Selon Bégin (1997, p. 13), le philosophe grec Aristote (384-322 av. J.-C.), par son souci de construire certains de ses modèles à partir d'observations systématiques de la nature, a défendu une position que l'on peut qualifier *a posteriori* de réaliste. Le réalisme propose que les modèles scientifiques sont des approximations d'une réalité objective qui existe indépendamment de l'observateur. Ce courant, contrairement au rationalisme, à l'empirisme et au positivisme, ne retient pas un mécanisme précis pour la progression des connaissances, mais reconnaît plutôt la complémentarité des différentes approches. Selon Owens et Starkey (2001), on associe généralement les physiciens Planck (1858-1947) et Einstein (1879-1955) à ce courant en considérant la réaction de ce dernier : « *Dieu ne joue pas aux dés !* » par rapport à la position positiviste de Bohr (1885-1962) qui prétendait que l'incertitude quantique, puis qu'elle est toujours mesurée, est une propriété intrinsèque de la réalité.

C'est la reconnaissance de l'existence d'une réalité vers laquelle tendent les modèles scientifiques (qui sont par ailleurs des constructions humaines) qui distingue le réalisme du constructivisme. À la proposition *l'observateur construit la réalité* du constructivisme radical, le réalisme propose que *l'observateur fait partie de la réalité*. La distinction est importante, puisque la position réaliste, tout en reconnaissant le caractère hautement construit des connaissances scientifiques, admet un mécanisme de sélection de ces connaissances qui correspond à l'interaction avec la réalité dans le but de la prédire. Ainsi, le critère de Popper peut être appliqué en toute rigueur, même si la science construite, elle, comporte une composante subjective. En d'autres mots, la réalité réagit de façon cohérente (dans la mesure où la réalité est cohérente) peu importe le modèle choisi pour la décrire.

Il est important de noter que la position réaliste, en n'adoptant pas un mécanisme précis pour la construction de connaissances scientifiques, ne peut prétendre que les sciences progressent dans leur tentative de décrire la réalité. Dans le meilleur des cas, la précision des prédictions augmente mais la construction du modèle, qui permet de produire ces prédictions, demeure tout aussi subjective qu'avant. Ainsi, les théories scientifiques s'inscrivent dans de grands *paradigmes* qui résultent de l'accord implicite et subjectif de la communauté scientifique (Kuhn, 1983, expliqué par Jarroson, 1992, p. 171).

Historiquement, les travaux de Michelson (1852-1931) concernant la vitesse de la lumière et ceux d'Einstein sur la relativité en 1905 ont contribué à diminuer l'influence de la position positiviste (au profit de la position réaliste) en remettant sérieusement en question la nécessité de la notion d'éther jusque là défendue par les positivistes. De la

même façon, les travaux de Rutherford (1871-1937) concernant le noyau atomique et ceux de Bohr (1885-1962) sur les orbites des électrons autour du noyau ont renforcé l'hypothèse de l'existence réelle des atomes à laquelle les positivistes s'opposaient depuis le début. Dans ce contexte, la position réaliste se distingue de la position positiviste en reconnaissant une certaine réalité aux modèles développés, qui se veulent des approximations de plus en plus juste d'une réalité unique.

Selon Alters (1997, p. 45), le réalisme est très présent chez les scientifiques contemporains et représente aussi le point de vue dominant parmi les philosophes des sciences. Ce courant épistémologique incarne, pour Begin (1997, p. 14), un regroupement des positions modérées des différents courants épistémologiques et apparaît comme la vision la plus authentique en ce qui a trait à la science contemporaine. À l'intérieur du courant réaliste, on distingue, toujours selon Bégin (p. 13), le réalisme *naïf* qui est associé à « *la tendance à prendre le modèle pour la réalité* » et le réalisme *critique* qui propose que « *les théories scientifiques sont des approximations successives de la réalité* ».

Un professeur de science d'allégeance réaliste aura tendance à souligner les rôles complémentaires du raisonnement inductif, du raisonnement déductif et de l'expérimentation dans la recherche de nouvelles connaissances scientifiques, à insister sur la différence entre les modèles (qui sont produits par les scientifiques) et la réalité (qui existe indépendamment des modèles), et à reconnaître une composante subjective et créative dans l'élaboration des théories scientifiques. Un cours de sciences correspond, pour ce professeur, à une suite d'expériences, de raisonnements et de modèles que l'élève doit réussir à comprendre, à construire et à maîtriser dans le but de prédire le monde qui l'entoure.

2.6. Résumé des principaux courants épistémologiques

Nous résumons ici, dans un tableau, le nom des principaux courants épistémologiques, l'époque où chacun d'eux a dominé la pensée, les tendances pédagogiques correspondantes à chaque courant ainsi que quelques philosophes ou scientifiques qui leur sont associés.

Tableau I. Courants épistémologiques

Description du courant	Tendance pédagogique	Philosophe ou scientifique
Rationalisme (17e siècle)		
Toute connaissance valide provient essentiellement de l'usage de la raison.	Insister sur l'importance de la rationalisation au détriment de l'expérimentation.	Platon (428-347 av. J.-C.) Descartes (1596-1650) Leibnitz (1646-1716) Kant (1724-1804)
Empirisme (18e siècle)		
Toute connaissance valide provient essentiellement de l'expérience.	Insister sur l'importance de l'expérimentation au détriment de la rationalisation.	Anaximène (610-545 av. J.-C.) Bacon (1561-1626) Locke (1632-1704) Newton (1642-1726) Berkeley (1685-1753)
Positivisme (19e siècle)		
La science progresse en se fondant sur des faits mesurés dont elle extrait des modèles par un raisonnement inductif rigoureux. Tout ce qui n'est pas directement mesurable n'existe pas.	Reconnaître l'importance complémentaire de l'expérimentation et de la rationalisation en insistant sur la démarche scientifique qui fait progresser la science.	Sextus Empiricus (160-210) Comte (1718-1857) Stuart Mill (1806-1873) Mach (1838-1916) Bridgman (1882-1961) Bohr (1885-1962) Carnap (1891-1970)

Description du courant	Tendance pédagogique	Philosophe ou scientifique
Constructivisme (20e siècle)		
Les connaissances scientifiques (observations et modèles) sont des constructions subjectives qui ne nous apprennent rien de la réalité.	Insister sur le caractère arbitraire ou subjectif des modèles scientifiques en encourageant l'élève à construire ses connaissances.	Héraclite (550-480 av. J.-C.) Protagoras (485-410 av. J.-C.) Brouwer (1881-1966) Piaget (1896-1980)
Réalisme (20e siècle)		
Les modèles scientifiques sont des constructions destinées à prédire certains aspects d'une réalité objective qui existe indépendamment de l'observateur.	Insister sur la différence entre les modèles, qui sont construits par les scientifiques, et la réalité, qui existe indépendamment des modèles. Les modèles sont des approximations successives de la réalité.	Aristote (384-322 av. J.-C.) Reid (1710-1796) Planck (1858-1947) Russel (1872-1970) Einstein (1879-1955)

3. Convergence historique de la classification proposée

Quand on analyse historiquement l'évolution des courants épistémologiques proposés, on peut remarquer que, malgré les oppositions entre les positions radicales des différents courants, les positions modérées tendent à se rejoindre à mesure que les époques se succèdent. En effet, le positivisme du 19e siècle (qui se réclame de l'expérience et de la logique) peut être perçu comme une position de compromis entre le rationalisme du 17e siècle et l'empirisme du 18e siècle. De même, le constructivisme et le réalisme du 20e siècle peuvent être perçus comme une réaction à la naïveté méthodologique du positivisme. Ces deux courants (constructivisme et réalisme), dans leur version modérée, insistent sur le caractère subjectif et construit des modèles scientifiques et reconnaissent l'existence d'une réalité indépendante des modèles. Bien entendu, ils ne s'entendent pas encore sur tous les points, en particulier sur *ce que la clef nous apprend de la serrure*, mais on peut peut-être espérer que nous assistons à une convergence des idées.

4. Limites de la classification proposée

Bien que les termes utilisés précédemment pour nommer les différents courants épistémologiques se retrouvent dans la plupart des textes sur le sujet, force est de constater qu'on ne leur associe pas toujours le même sens. Par exemple, Astolfi *et al.* (1997, p. 80-81) définissent le rationalisme appliqué (tel que proposé par Bachelard) comme une position de compromis entre l'idéalisme (connaissances provenant exclusivement du travail de l'esprit) et l'empirisme (connaissances obtenues par accumulation des faits). On notera aisément (dans ce cas) que l'idéalisme proposé par Astolfi *et al.* correspond au rationalisme de notre classification et que le rationalisme proposé par Astolfi *al.* est apparenté au réalisme de notre classification. Il apparaît donc essentiel, dans la consultation de textes sur l'épistémologie, de toujours vérifier la définition que les auteurs associent à chacun des termes qu'ils utilisent.

D'autre part, cette classification est le fruit d'une longue réflexion entreprise par les philosophes, les scientifiques et les didacticiens à propos de l'histoire des sciences et ne correspond pas forcément à l'idée que se fait spontanément un scientifique de la science. Comme le fait remarquer Alters (1997, p. 39), la conception qu'un scientifique se fait de la science peut dépendre du sujet : il peut, par exemple, avoir des tendances positivistes

quant à l'interprétation de la physique quantique et des tendances rationalistes quant à l'interprétation de la courbure de l'espace-temps. Ainsi, la classification retenue est une liste des tendances dans la communauté scientifique en général et, bien qu'on associe au moins un scientifique célèbre à chaque courant, il ne faut pas conclure qu'on peut associer un seul courant épistémologique à chaque scientifique. On peut mentionner par exemple Newton (1642-1727), que nous avons associé au courant empiriste (qui dominait son époque), mais qu'on associe aussi parfois au courant réaliste.
Une difficulté supplémentaire apparaît quand on tente de déterminer la conception que les professeurs se font de la science, car ceux-ci ne sont habituellement pas impliqués dans un domaine précis de recherche scientifique. Leur rôle consiste plutôt à présenter plusieurs théories scientifiques pour lesquelles leur allégeance épistémologique est souvent mal définie. Il peut en résulter une confusion qui n'est probablement pas sans rapport avec le fait que plusieurs professeurs de sciences sont incapables de formuler une conception de la science qui soit à la fois profonde et cohérente (Gallagher, 1991, p. 127). L'appartenance d'un professeur à un courant épistémologique donné est donc souvent très difficile à établir, et les effets de cette appartenance sur son enseignement sont très difficiles à mesurer.

5. Conclusion

Dans ce document, nous avons présenté les cinq principaux courants épistémologiques, soit le rationalisme, l'empirisme, le positivisme, le constructivisme et le réalisme. Nous avons constaté que chaque courant propose une conception de la science qui lui est propre et que cette conception n'est pas toujours conciliable avec la conception proposée par les autres courants.
Étant donné le fait qu'un scientifique donné n'appartient pas nécessairement à un seul courant épistémologique, il ne faut pas se surprendre que la conception qu'un professeur de science se fait de la science ne soit pas toujours cohérente et que son appartenance à un courant épistémologique donné ne soit pas facile à établir. On peut aussi comprendre que les effets de cette appartenance sur son enseignement soient très difficiles à mesurer.
Ce que l'on peut obtenir, par contre, c'est un portrait des préférences pédagogiques et une conception du cours de science qui soient cohérentes avec l'appartenance d'un professeur à un courant donné. Et ce que l'on peut espérer, pour le bénéfice des élèves, c'est que les scientifiques, les philosophes et les professeurs s'entendent sur une conception de l'activité scientifique de façon à ce que les élèves puissent acquérir une vision unifiée et cohérente de la science.

6. Sources documentaires

Alters, B. J., *Whose Nature of Science ?*, Journal of Research in Science Teaching, vol. 34, no 1, p. 39-55, 1997.
Astolfi, J.-P. et Develey, M., *La didactique des sciences*, Paris, Seuil, 127 p., 1993.
Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y. et Toussaint, J., *Mots-clés de la didactique des sciences*. Paris, De Boeck, 193 p., 1997.
Barreau, H., *L'épistémologie*, Paris, PUF, 127 p., 1995.
Baudouin, J., *Karl Popper*, Paris, PUF, 128 p, 1995.

Beaugrand, J. P., Démarche scientifique et cycle de la recherche, In M. Robert, *Fondements et étapes de la recherche scientifique en psychologie*, St-Hyacinthe, Edisem, p. 1-35, 1988.
Begin, R., *Conception de la science et intervention pédagogique*, Spectre, vol. 26, no 2, p. 10-16, 1997.
Bunge, M. A., *Philosophie de la physique*, Paris, Seuil, 299 p., 1975.
Blanshard, B., *Rationalism*, Chicago, Encyclopaedia Britannica (http://www.britannica.com), 2001.
Feigl, H., *Positivism*, Chicago, Encyclopaedia Britannica (http://www.britannica.com), 2001.
Galilée, G., *Dialogues sur les deux grands systèmes du monde*, Paris, Seuil, 660 p., 1992.
Galilée, G., *L'Essayeur*, Paris, Les Belles Lettres, 307 p., 1990.
Gallagher, J. J., *Prospective and Practicing Secondary School Science Teachers' Knowledge and Beliefs about the Philosophy of Science*, Science Education, 75, 121-133, 1991.
Gingras, F.-P., Sociologie de la connaissance, In B. Gauthier, *Recherche sociale*, Sainte-Foy, Presses de l'Université du Québec, p. 17-46, 1995.
Giordan, A., Les nouveaux modèles sur apprendre : pour dépasser le constructivisme ?, *Perspecives*, Vol. XXV, no 1, mars 1995, UNESCO.
Giordan, A. et De Vecchi, V. *Les origines du savoir*, Paris, Delachaux et Niestlé, 212 p., 1987.
Granger, G.-G., *La science et les sciences*, Paris, Presses Universitaires de France, 127 p., 1995.
Guilbert, L., La démarche scientifique: fiction ou réalité?, *Spectre*, vol. 25, no 2, p. 18-22, 1996.
Jarroson, B., *Invitation à la philosophie des sciences*, Paris, Seuil, 234 p., 1992.
Johsua, S. et Dupin, J.-J., *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*, Paris, Presses Universitaires de France, 422 p., 1999.
Kremer-Marietti, A., *Le positivisme*, Paris, PUF, 128 p., 1993.
Kuhn, T. S., *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, 246 p., 1983.
Largeault, J., *L'intuitionnisme*, Paris, PUF, 135 p., 1992.
Larochelle, M. et Désautels, J., *Autour de l'idée de science*, Sainte-Foy, Presses de l'Université Laval, 314 p., 1992.
Lawson, A. E., Research on the Acquisition on Science Knowledge : Epistemological Foundations of Cognition, In D. L. Gabel, *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, Toronto, Maxwell Macmillan Canada, p. 131-176, 1994.
Le Moigne, J.-L., *Les épistémologies constructivistes*, Paris, PUF, 127 p., 1995.
Legendre, R., *Dictionnaire actuel de l'éducation*, Montréal, Guérin, 1500 p., 1993.
Millar, D., Millar, I., Millar, J. et Millar M., *The Cambridge Dictionary of Scientists*, Cambridge, Cambridge University Press, 387 p., 1996.
Newton, I., *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*, University of California Press, 974 p., 1999.
Novak, J. D., Learning Science and the Science of Learning. *Studies in Science Education*, vol. 15, p. 77-101, 1988.
Owens, J. et Starkey, H., *Realism*, Chicago, Encyclopaedia Britannica (http://www.britannica.com), 2001.
Paris, C. et Bastarache, Y., *Philosopher: pensée critique et argumentation*, Québec, C.G. inc., 369 p., 1995.
Popper, K., *Conjectures et réfutations*, Paris, Payot, 610 p., 1985.

Popper, K., *La logique de la découverte scientifique*, Paris, Payot, 480 p., 1973.
Quinton, A. M., *Empiricism*, Chicago, Encyclopaedia Britannica (http://www.britannica.com), 2001.
Rival, M., *Les grandes expériences scientifiques*, Paris, Seuil, 205 p., 1996.
Robert, P., *Le nouveau petit Robert*, Paris, S.N.L., 2551 p., 1995.
Séguin, M. et Villeneuve, B., Astronomie et astrophysique : cinq grandes idées pour explorer et comprendre l'univers (2e édition), St-Laurent, E.R.P.I., 618 p., 2002.